

Tendencias Actuales de la Ciencia del Suelo
N. Bellinfante & A. Jordán (eds.); Sevilla, 2007
ISBN 978-84-690-4129-1

Laboreo de conservación: efectos a largo plazo sobre el carbono orgánico y propiedades bioquímicas del estrato superficial de un suelo representativo de Andalucía occidental

E. MADEJÓN¹, F. MORENO¹, J.M. MURILLO¹ & F. PELEGRÍN²

¹ Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. CSIC. Avda. Reina Mercedes, 10. 41012 Sevilla, España.

² Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Resumen

En este trabajo se han estudiado a largo plazo las mejoras en superficie ocasionadas por el laboreo de conservación (LC) sobre la biología de un suelo franco-arcilloso calcáreo, Xerofluvent, bajo condiciones semiáridas. El experimento se inició en 1991, con una rotación trigo-girasol, bajo condiciones de secano. Durante 2005 se introdujo un guisante forrajero en la rotación. El estado microbiológico del suelo se estudió en función del carbono de la biomasa microbiana (CBM) y actividades enzimáticas deshidrogenasa, fosfatasa alcalina, β -glucosidasa y proteasa. Se realizaron dos muestreos de suelo (0-5, 5-10 y 10-25 cm de profundidad) uno en otoño de 2004 y otro en verano de 2005, antes y después del cultivo de guisante. En ambos muestreos se observó un aumento en superficie (0-5 y 5-10 cm) de la concentración de carbono orgánico (COT), carbono orgánico soluble (CS), CBM y actividades enzimáticas del suelo bajo LC, respecto al suelo tratado bajo laboreo tradicional (LT). El contenido de CBM resultó más bajo en verano, mientras que los valores de actividades enzimáticas fueron similares en ambos muestreos. Todas las variables analizadas experimentaron un marcado descenso en profundidad, sin que se registraran diferencias significativas entre ambos tratamientos a esta profundidad. Los valores de las actividades enzimáticas, COT, CS y CBM estuvieron significativamente correlacionados ($p < 0.01$). El laboreo de conservación mejoró la calidad del suelo en superficie mediante el aumento de COT y, especialmente, de la actividad biológica del suelo.

Abstract

We study the effects of long term conservation tillage (CT) on soil biological status of a semi-arid sandy clay loam soil (Xerofluvent). The results are compared with those obtained under traditional tillage (TT). The study was conducted in a wheat-sunflower crop rotation established in 1991 under rainfed conditions in SW Spain. A fodder pea crop was introduced in the rotation in 2005. Soil biological status was evaluated by measuring the microbial biomass carbon (MBC) and some enzyme activities (dehydrogenase, alkaline phosphatase, β -glucosidase and protease) in autumn of 2004 and in summer of 2005, before and after the fodder pea crop, respectively. Soil analyses were performed in samples collected at three depths (0-5, 5-10 and 10-25cm). In general and in both samplings, increases in the organic matter content, MBC and enzymatic activities were found in the more superficial layers of soil under CT in comparison with those found under TT. Values of MBC were lower in summer, whereas values of enzyme activities were similar in both samplings. Biological properties showed a pronounced decrease with increasing soil depth. Statistical differences in biochemical properties between soils under the different tillage were not found in the deeper layer (10-25cm). Enzymatic activities, MBC, and organic matter (water-soluble carbon (WSC) and total organic carbon (TOC) contents) were strongly correlated ($p < 0.01$). The conservation tillage improved the quality of soil in the superficial layer by enhancing its organic matter content and, especially, its biological status.

Introducción

Las prácticas agrícolas influyen de manera determinante en el contenido y dinámica de la materia orgánica del suelo, factores que son muy importantes para la funcionalidad desde el punto de vista físico, químico y biológico. La conservación y la mejora del contenido de materia orgánica de los suelos es un gran reto, sobre todo en los suelos de la cuenca mediterránea.

El laboreo causa rápidas pérdidas de materia orgánica del suelo lo que redundará en un descenso de la actividad biológica, un deterioro de las propiedades físicas y a largo plazo en una disminución de la productividad. La eficacia del laboreo de conservación para paliar la erosión del suelo, y mejorar el contenido en materia orgánica y la capacidad de retención de agua es un hecho universalmente conocido. Este aspecto es particularmente importante en zonas semiáridas, en las que las condiciones climáticas llevan a continuas pérdidas de materia orgánica. En estas condiciones, el agua es el factor limitante para el desarrollo del cultivo y en las que un buen manejo del agua y de los residuos de cosecha son de vital importancia para la producción (Du Preez *et al.*, 2001).

La mejora del agua en el perfil del suelo en laboreo de conservación ha sido constatada por numerosos autores en condiciones semiáridas del sur (Moreno *et al.*, 1997) y del norte (Lampurlanés and Cantero-Martínez, 2006) de España. Además, se ha demostrado el aumento de los contenidos en carbono orgánico y nutrientes y una disminución de las pérdidas de carbonato en las capas superficiales del suelo (Murillo *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2006). Paralelamente a estas mejoras físicas y

químicas del suelo, algunos trabajos han puesto de manifiesto los beneficios del laboreo de conservación en las propiedades bioquímicas del suelo y en general en las de la ecología del suelo (Kladivko, 2001). El manejo del suelo afecta a los microorganismos y a los procesos que éstos llevan a cabo. Los parámetros biológicos y bioquímicos se han mostrados como excelentes y rápidos indicadores de la calidad del suelo. Muchos estudios han indicado que bajo laboreo de conservación la biomasa microbiana y la actividad de numerosas enzimas del suelo aumentan con respecto a las medidas bajo laboreo tradicional en la capa más superficial del suelo (Dick 1984) (0-10 cm, sin embargo este hecho no es tan evidente en capas más sub-superficiales).

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del laboreo de conservación a largo plazo (tras 14 años de aplicación) en las propiedades químicas y bioquímicas del suelo. Los resultados se compararon con los obtenidos bajo laboreo tradicional. Propusimos como hipótesis que el laboreo de conservación podría tener un efecto positivo en los contenidos de materia orgánica del suelo lo que podría repercutir en la funcionalidad microbiológica del mismo. Para probar dicha hipótesis se determinó el contenido en carbono total (COT), el contenido en carbono hidrosoluble (CS) y algunas propiedades bioquímicas como al carbono de la biomasa microbiana (CBM), actividad deshidrogenasa (DHA), proteasa (PROT), b-glucosidasa (GLUC) y fosfatasa alcalina (FOS).

Material y métodos

Área de estudio: Características climáticas y sistemas de laboreo.

El experimento de campo de llevó a cavo en un suelo franco-arcillo arenoso (Xerofluvent, Soil Survey Staff, 1996) en la finca experimental del IRNAS (CSIC). El clima de la zona es típicamente mediterráneo con inviernos moderadamente lluviosos y veranos muy calurosos (media anual de 484 mm en el periodo desde 1971-2004). En los años que engloban al presente estudio las precipitaciones fueron 450 mm en 2004 y 222 mm (valor muy por debajo de la media) en 2005.

Las parcelas experimentales se establecieron en 1991 en un área de 2.500 m², en ese año las parcelas se sembraron con trigo siguiendo las prácticas de laboreo tradicionales en la zona. Después de la cosecha en junio de 1992, el área se dividió en 6 subparcelas de 300 m² (22 x 14 m). Se establecieron dos sistemas de laboreo: laboreo tradicional (LT) y laboreo de conservación (LC).

En LT se utilizó vertedera (hasta 30 cm de profundidad), quemándose el rastrojo del cultivo precedente. La práctica de quema se suspendió desde 2003. En LC no se utilizó vertedera y se redujo el número de operaciones (Moreno *et al.*, 1997). En ambos tratamientos se estableció una rotación trigo (*Triticum aestivum*, L.)- girasol (*Helianthus annuus*, L.) bajo condiciones de secano. En 2005 se introdujo una leguminosa, guisante forrajero (*Pisum arvense*, L.). Se dispusieron tres replicados por tratamiento distribuidos al azar. El girasol y el guisante no recibieron fertilización y el trigo recibió fertilización de fondo con 400 kg ha⁻¹ de un fertilizante 15 N-15 P₂O₅-15 K₂O antes de la siembra y una cobertera de urea (46% N) de 200 kg ha⁻¹. Desde 2002, la fertilización de fondo se redujo a 100 kg ha⁻¹ y se

suprimieron las coberturas (Murillo *et al.*, 2004). Los resultados del presente trabajo corresponden a dos muestreos, uno realizado en noviembre de 2004, antes de la siembra de la leguminosa y otro realizado en junio de 2005 después de la recolección de la misma.

Muestreo de suelo y análisis

El muestreo de suelo se llevó a cabo a tres profundidades (0-5, 5-10 y 10-25 cm) en dos puntos de cada subparcela experimental para componer una muestra conjunta por profundidad. Las muestras húmedas se tamizaron (2 mm) y se dividieron en dos submuestras. Una se conservó a 4°C para la realización de los análisis microbiológicos y la otra se secó al aire para los análisis químicos.

El COT se determinó según la metodología propuesta por Walkley y Black (1934), el CS se determinó en el extracto acuoso (1/10) usando un analizador TOC-V-CSH/CSN. El CBM se determinó por el método de fumigación con cloroformo seguido de extracción (Gregorich *et al.*, 1990). La DHA se determinó por el método de Trevors (1984), la FOS por el método propuesto por Tabatabai (1994), la GLUC por el método de Tabatai (1982) y la PROT siguiendo el método propuesto por Ladd y Butler (1972).

Análisis estadístico

Las diferencias entre tratamientos se establecieron mediante el test de t-Student. Las pruebas de normalidad de las variables y el análisis estadístico de los resultados se realizaron con el programa SPSS 11.5 para Windows.

Resultados y discusión

En general, el suelo bajo LC mantuvo contenidos de COT mayores que el suelo bajo LT, especialmente en el muestro de verano y las diferencias fueron significativas hasta los 10 cm (Tabla 1). Algunos autores coinciden con este resultado y han demostrado que los contenidos en COT en los suelos bajo laboreo de conservación son superiores a los encontrados bajo laboreo tradicional (Díaz-Zorita and Grove, 2002). Este incremento es especialmente importante en los suelos de la zona de estudio en los que los niveles de materia orgánica son muy bajos (alrededor de 10 g kg⁻¹) contenido normal en suelos de zonas semiáridas (Acosta-Martínez *et al.*, 2003). Por el contrario, las concentraciones de CS fueron solo superiores en el tratamiento LC en el muestreo de otoño (Tabla 1). En el muestro de verano los valores de CS fueron similares en ambos tratamientos e incluso superiores en LT en los primeros 5 cm. Probablemente las altas temperaturas en primavera y verano provocaron una alta mineralización de las fracciones más lábiles de carbono, como puede constatare por el importante descenso observado entre los dos muestreos. El enriquecimiento de CS en el LC fue más notable en las capas más superficiales, mientras que el caso del LT el CS se distribuyó a lo largo de todo el perfil.

El carbono de la biomasa (CBM) es una de las formas más lábiles de C y aunque no supone más del 3% del C total del suelo representa una gran reserva de nutrientes para las plantas (Marumoto *et al.*, 1982). MBC fue superior en el tratamiento LC

que en el tratamiento LT hasta los 10 cm de profundidad, especialmente en el muestreo de otoño (Tabla 2). Este incremento está estrechamente relacionados con los incrementos de COT y CS, como corroboran los altos coeficientes de correlación encontrados entre estos parámetros (Tabla 3). Para ambos tratamientos se encontró que el MCB decrecía en el muestreo de verano, debido a probablemente a que la disminución de la humedad del suelo afecta al crecimiento microbiano (Alvear *et al.*, 2005). Como ocurre con el TOC, el CBM disminuyó con la profundidad

Tabla 1. Valores medios de TOC y CS en los suelos bajo los dos sistemas de laboreo a las tres profundidades. Las diferencias entre tratamientos de indican por (*) ($p < 0.05$).

		Profundidad (cm)		
Tratamiento				
Noviembre 2004		0 - 5	5- 10	10-25
TOC	LC	13,5	12,3	7,00
(g kg ⁻¹)	LT	13,2	10,5	6,50
CS	LC	326*	151	90,4
(mg kg ⁻¹)	LT	183	136	138
Junio 2005				
TOC	LC	14,8*	12,7*	8,80
(g kg ⁻¹)	LT	10,0	9,80	7,50
CS	LC	126	114	45,0
(mg kg ⁻¹)	LT	161*	129	97,4

Debido a su importancia en la funcionalidad del suelo, las actividades enzimáticas se han considerado como indicadores útiles para evaluar tanto la mejora como la degradación del mismo (Dick 1994). Las actividades enzimáticas pueden servir como estimadores de las alteraciones tanto naturales como antropogénicas que tienen lugar en los suelos.

La DHA es una oxido-reductasa presente en las células vivas y se considera como un buen indicador de la calidad del suelo. En ambos muestreos, la DHA fue significativamente superior en el LC en la capa superficial (0 - 5cm) e incluso en el primer muestreo las diferencias fueron significativas hasta 10 cm de profundidad (Tabla 2). Este hecho indica una mejora de la calidad del suelo bajo el laboreo de conservación, resultado obtenido también por otros autores en condiciones climáticas similares (Roldán *et al.*, 1995).

Las actividades hidrolasas son indicadoras de la fertilidad del suelo ya que están íntimamente relacionadas con el ciclo de nutrientes. En general, LC tuvo un efecto positivo en las actividades hidrolasas (Tabla 2). En la capa superficial del suelo (0 - 5 cm), FOSF, GLUC y PROT fueron superiores en LC y en algunos casos las diferencias fueron significativas (Tabla 2). Aumentos de las actividades hidrolasas bajo sistemas de laboreo de conservación han sido publicados también por otros autores, comprobándose que el efecto disminuye con la profundidad (Kandeler *et al.*, 1999). Los resultados de los dos muestreos indicaron además que las actividades hidrolasas no mostraron cambios estacionales significativos.

Tabla 2. Valores medios de CBM y actividades enzimáticas en los suelos bajo los dos sistemas de laboreo en las tres profundidades. Las diferencias entre tratamientos de indican por (*) ($p < 0.05$). (INTF, iodonitrotetrazolium formazan; PNP, p-nitrofenol; Tyr, tirosina).

		Profundidad (cm)		
Tratamiento		0 - 5	5 - 10	10 - 25
Noviembre 2004				
CBM	LC	316*	151	90,4
(mg kg ⁻¹)	LT	183	136	138
DHA	LC	3,95*	2,07*	1,22
(mg INTF kg ⁻¹ h ⁻¹)	LT	2,96	1,51	1,07
FOSF	LC	435	249	295
(mg PNP kg ⁻¹ h ⁻¹)	LT	402	213	260
PROT	LC	92,6*	15,6	9,52
(mg Tyr kg ⁻¹ h ⁻¹)	LT	49,6	25,6	12,2
GLUC	LC	203	86,0*	40,0
(mg PNP kg ⁻¹ h ⁻¹)	LT	172	67,1	39,0
Junio 2005				
CBM	LC	90,7	62,0	44,6
(mg kg ⁻¹)	LT	78,0	59,0	97,4
DHA	LC	5,54*	1,61	0,62
(mg INTF kg ⁻¹ h ⁻¹)	LT	2,95	1,98	0,68
FOSF	LC	350	211	184
(mg PNP kg ⁻¹ h ⁻¹)	LT	313	186	167
PROT	LC	92,7*	23,9	8,97
(mg Tyr kg ⁻¹ h ⁻¹)	LT	59,4	22,7	12,3*
GLUC	LC	198*	140	65,4
(mg PNP kg ⁻¹ h ⁻¹)	LT	125	125	56,0

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables químicas y bioquímicas del suelo. n = 48 (** $p < 0.01$)

	COT	CS	CBM	DHA	PROT	GLUC	FOSF
COT	1	0.403**	0.381**	0.721**	0.687**	0.819**	0.470**
CS		1	0.763**	0.485**	0.542**	0.528**	0.607**
CBM			1	0.372**	0.496**	0.391**	0.544**
DHA				1	0.908**	0.779**	0.581**
PROT					1	0.811**	0.651**
GLUC						1	0.613**
FOSF							1

En este estudio se encontraron altas correlaciones entre las actividades enzimáticas, TOC y CS (Tabla 3) lo que indica la alta dependencia de la funcionalidad de las enzimas del suelo con el contenido en materia orgánica del mismo. Por otra parte se encontró una alta correlación entre todas las actividades enzimáticas (Tabla 3).

Conclusiones

El laboreo de conservación a largo plazo se mostró como una alternativa más eficaz que el laboreo tradicional para aumentar el contenido en materia orgánica y mejorar las propiedades bioquímicas de la capa superficial de un suelo cultivado en secano. Esta mejora de la calidad del suelo puede contribuir a la sostenibilidad de la agricultura en climas semiáridos.

Referencias

- Acosta-Martínez, V., Klose, S., & Zobeck, T.M. (2003). Enzyme activities in semiarid soils Under conservation reserve program, native rangeland, and cropland. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166:699-707.
- Alvear, M., Rosas, A., Rouanet, J.L., Borie, F. (2005). Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from Southern Chile. *Soil Till. Res.* 82(2):195-202.
- Díaz-Zorita, M., & Grove, J.H. (2002). Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs. *Soil Till. Res.* 66:165-174.
- Dick, R.P. (1994). Soil enzyme activities as indicators of soil quality. En: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., & Stewart B.A. (eds.). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA special publication no. 35, Madison. Pp.: 107-124.
- Du Preez, C.C., Steyn, J.T., & Kotze, E. (2001). Long-term effects of wheat residue management on some fertility indicators of a semi-arid plinthosol. *Soil Till. Res.* 63:25-33.
- Gregorich, E.G., Wen, G., Voroney, R.P., & Kachanoski, R.G. (1990). Calibration of rapid direct chloroform extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 22:1009-1011.
- Kandeler, E., Tscherko, D., & Spiegel, H. (1999). Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. *Biol. Fertil. Soils* 28:343-351.
- Kladivko, E.J. (2001). Tillage systems and soil ecology. *Soil Till. Res.* 61:61-76.
- Ladd, J.N., & Butler, J.H.A. (1972). Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. *Soil Biol. Biochem.* 4:19-30.
- Lampurlanés, J., Cantero-Martínez, C. (2006). Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil Till. Res.* 84:13-26.

- Linden, D.R., Clapp, C.E., & Dowdy, R.H (2000). Long-term corn grain and stover yields as a function of tillage and residue removal in east central Minnesota. *Soil Till. Res.* 56 (3-4):167-174
- Marumoto, T., Anderson, J.P.E., & Domsch, K.H. (1982). Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 14:469-475.
- Moreno, F., Murillo, J.M., Pelegrín, F., & Girón, I.F. (2006). Long-term impact of conservation tillage on stratification ratio of soil organic carbon and loss of total and active CaCO₃. *Soil Till. Res.* 84:86-93.
- Moreno, F., Pelegrín, F., Fernández, J.E., Murillo, J.M. (1997). Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil Till. Res.* 41:25-42.
- Murillo, J.M., Moreno, F., Girón, I.F., & Oblitas, M.I. (2004). Conservation tillage: long term effect on soil and crops under rainfed conditions in south-west Spain (western Andalusia). *Span. J. Agric. Res.* 2:35-43.
- Roldán, A., Salina-García, J.R., Alguacil, M.M., & Caravaca, F. (2005). Changes in soil enzyme activities, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Appl. Soil Ecol.* 30:11-20.
- Tabatabai, M.A. (1982). Soil enzymes. En: Page, A.L., Miller, E.M., & Keeney, D.R. (eds.). *Methods of soil analyses. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* ASA, Madison. Pp. 903-947.
- Tabatabai, M.A. (1994). Soil enzymes. In: Weaver, R.W. *et al.*, (eds.), *Methods of Soils Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties.* SSSA, Madison, Wisconsin, pp. 778-833, Chapter 37.
- Trevors, J.T. (1984). Dehydrogenase activity in soil: a comparison between the INT and the TTC assay. *Soil Biol. Biochem.* 16:673-674.
- USDA (1996). *Keys to Soil Taxonomy.* US Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Washington DC.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.